

森林炭素動態シミュレーションシステムを用いた 気候変動が森林炭素吸収量に及ぼす 影響評価の試行

光田 靖¹・鹿又 秀聡²・松本 光朗³

(受付 2013年1月1日; 採択 3月12日)

要 旨

森林炭素動態シミュレーションシステムを用いてシミュレーションによる気候変動リスク評価を試行した。森林炭素動態シミュレーションシステムは森林データベースと林分成長モデルから構成される。森林データベースは国家森林資源データベースを標準地域メッシュ3次メッシュ単位で再構成したものであり、樹種、林齢やサイズ(葉群、枝、幹、根バイオマスなど)といった情報から構成されている。森林データベースのサイズ情報については森林資源モニタリング調査データから推定されている。林分成長モデルは光合成や呼吸などによる物質収支に基づくプロセスモデルである。このシミュレーションシステムを用いて、日本全国のスギ林を対象として2050年までの炭素動態シミュレーションを行った。入力する気象値を将来予測値および平年値としてそれぞれシミュレーションを行ったところ、将来予測値を用いた場合では比較して炭素吸収量が小さくなり、炭素蓄積量も蓄積量も小さくなるという結果となった。

キーワード：炭素蓄積量、調整サービス、国家森林資源データベース、森林資源モニタリング調査、スギ人工林。

1. はじめに

森林は光合成により大気中の二酸化炭素を吸収して樹体内に炭素を長期間貯蔵することから、将来的に予想される気候変動に対して緩和機能を有する。環境リスクへの対応として森林の気候変動緩和機能を考える上では、森林そのものに蓄積される炭素とあわせて、林業活動により産出される木材として蓄積される炭素、木質バイオマスのエネルギー利用および木材製品の利用拡大による代替効果による炭素放出削減を考慮する必要がある。

適切な森林管理や木材利用によって森林および木材に貯蔵される炭素量を高い水準に保つことは、緩和機能を維持、向上させるために不可欠である。IPCC第4次報告書(IPCC, 2007)は「長期的には、森林炭素貯留の維持、または増加を目的とした持続可能な森林管理戦略が、森林から木材、木質繊維またはエネルギーなどの毎年の収穫物を生み出しながら、最大の持続的な緩和便益を生み出す。」としており、森林生態系のみならず人間社会も含めて森林の気候変動

¹ 森林総合研究所 四国支所：〒780-8077 高知県高知市朝倉西町2-915 (現 宮崎大学 農学部：〒889-2155 宮崎県宮崎市学園木花台西1丁目1)

² 森林総合研究所 林業経営・政策研究領域：〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

³ 森林総合研究所 研究コーディネータ：〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

緩和機能を考える必要がある。森林は二酸化炭素の吸収だけではなく、生物多様性保全や水資源保全といった多面的な機能を持つため、それらのバランスの中で気候変動緩和機能を発揮させる森林管理戦略が必要となる。具体的な森林の取り扱いを大別すると、ある林を間伐するといった局所的かつ短期的な森林管理と、森林全体の配置デザインを考える広域的かつ長期的な森林管理がある。間伐などの林分の短期的な取り扱いによって炭素吸収量を増加させることには限界があり(細田 他, 2012)、森林生態系と人間社会の両方を考慮する必要があることを考えると、森林の気候変動緩和機能に着目する場合には広域的かつ長期的な森林管理戦略の重要性が高いであろう。このような背景のもと、農林水産省技術会議プロジェクト「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発」において、森林の気候変動緩和機能を維持、向上させるための広域的かつ長期的な森林管理について研究が進められている(農林水産技術会議事務局, 2011)。その中で森林・林業政策として広域的かつ長期的な森林管理戦略を策定する際の意志決定支援ツールとして、日本全国の森林について将来的な炭素動態シミュレーションを行うためのシステム開発が行われている。ここで開発されている森林炭素動態シミュレーションシステムは、シナリオとして与えられる様々な気象条件および林業活動を反映し、それらが森林の炭素吸収量にどのような影響を与えるのかをシミュレーションによって予測できるように設計されている。

本報告においては、開発が進められている森林炭素動態シミュレーションシステムを紹介し、それをういたシミュレーションにより気候変動が日本全国のスギ林における炭素吸収量に及ぼす影響の評価を試行した。気候変動の影響によって森林の二酸化炭素吸収量に変化することは、森林における生態系サービスの一つである気候に対する調整サービスが変化するという環境リスクと捉えられる。本報告で取り扱う森林の炭素蓄積量シミュレーションシステムは、どの程度の環境変動が生じた場合に炭素吸収量にどのような影響が生じるのかを予測することをとおして、森林生態系の調整サービスにどのような影響が生じるのか環境リスクを評価するものであるともいえる。

2. シミュレーションシステム

2.1 システムの概要

森林炭素動態シミュレーションシステムは森林データベースと林分成長モデルから構成される(図1)。システムの中核となるのは森林データベースであり、樹種、林齢やサイズ(葉群、枝、幹、根バイオマスなど)といった情報から構成されている。またシステムによるシミュレーションを行う際には、様々な気候シナリオデータが気象値のデータベースとして用いられる。森林データベースからサイズ情報を、気候シナリオデータから気象値を林分成長モデルへ入力し、これらの値に基づいて成長予測を行う。予測結果により各林分を成長させて森林データベースを更新し、このサイクルを続けることによって森林の動態予測を行っていく。また、森林データベースは林業活動によっても更新され、間伐や伐採によって林分の状態が変化し、また木材として蓄積された炭素が生態系外へ持ち出される。このように炭素動態シミュレーションシステムは、気象だけでなく林業活動の影響を組み込んだものであり、政策決定の意志決定支援ツールとして活用できるような構造になっている。なお、本報告においてはふれないが、プロジェクト全体では森林生態系における土壌炭素および木材製品としての炭素貯蔵についても対象としている。

2.2 森林データベースおよび林分成長モデル

本システムの基盤となる森林データベースは、林野庁の国家森林資源データベース(松本 他, 2006)を基礎としており、日本における全ての林を網羅した帳簿情報である森林簿と、それと

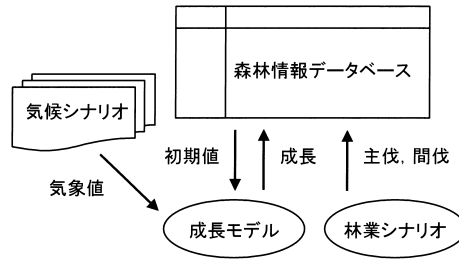


図 1. 炭素動態シミュレーションシステムの概要.

対応する地図情報である森林計画図に基づいている (Hirata et al., 2010). 本システムにおいては、シミュレーションにおける計算量を考慮して、森林データベースの空間解像度を気象データにあわせて標準地域メッシュ3次メッシュ (約 1km^2 解像度) とした。樹種および齢級 (林齢を5年間隔の階級にしたもの) の等しい林分をコーホートとみなして、各3次メッシュ内で各コーホートの面積を集計してデータベースの基礎単位とした。また、森林の現況を反映するため、林野庁事業「森林資源モニタリング調査 (現・森林生態系多様性基礎調査事業)」のデータを利用して各林分のサイズ情報を推定し、森林資源データベースの初期値とした (例えば, Kitahara et al., 2008)。

システムで用いる林分成長モデルは光合成や呼吸などによる物質収支に基づくプロセスモデルであり、モデル入力値は葉群、枝、幹および根バイオマス初期値および日射量、平均気温および大気飽差という3要素の気象値である。詳しくは本特集の論文 (光田 他, 2013) を参照されたい。

2.3 シミュレーションの設定

本報告においては、このシステムを用いて日本全国のスギ林を対象として炭素蓄積量およびその変化量としての炭素吸収量について将来予測を行い、気候変動の影響評価を試行する。なお、システムの林分成長モデルはバイオマスを用いて成長予測を行っているため、炭素含有量をバイオマスの半分として炭素量へと変換した。シミュレーションの期間は森林データベースの初期値である2005年から2050年までとした。気候シナリオについては東京大学気候システム研究センター、国立環境研究所、地球環境フロンティア研究センターによって開発された高分解能大気海洋結合モデル (MIROC-hi 3.2; K-1 model developers, 2004) の出力値を、農業環境技術研究所が3次メッシュへと内挿したデータを用いた。なお、今回用いた気候シナリオの背景として設定された社会シナリオはA1Bシナリオであり、経済成長が続き炭素排出量の増加量が比較的多くなるシナリオグループに属するものである。林業活動については現状と同じ傾向で継続するものと仮定して、県別に年間の間伐および伐採量を各年について推定して用い、伐採後の再造林率は50%で一定とした。与えられた間伐および伐採量に達するまでランダムに単位コーホートを選んで間伐および伐採を行う。

本システムで用いる林分成長モデルは初期バイオマスおよび気象値のみを入力値とし、土壌要因など成長に大きく影響する因子は組み込まれていない。モデルパラメータの推定を行う際には、それらの要因を立地条件の違いから生じる不確実性として取り扱った (光田 他, 2013)。そこで本報告においては、まず固定のモデルパラメータを用いてシミュレーションを行い、次に不確実性を考慮した繰り返しシミュレーションを行った。不確実性を考慮したシミュレーションにおいては、推定された不確実性パラメータを用い、各単位コーホートについて個別のモデ

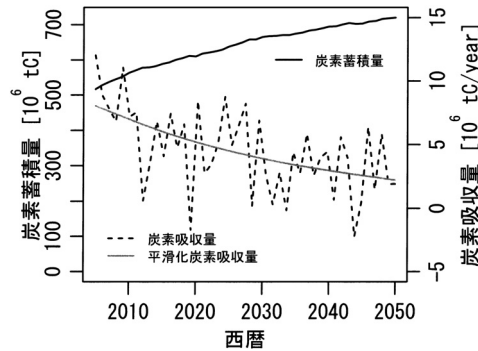


図 2. 日本全国のスギ林を対象とした炭素動態シミュレーションの結果.

ルパラメータを与えた. 2005 年から 2050 年までのシミュレーションを試行ごとにパラメータを再設定して 1,000 回行い, 不確実性の評価を行った.

気候シナリオデータにおける気候変動の影響を評価するため, 気象庁発行のメッシュ気候値 2000 を用いて, 30 年間(1971 年から 2000 年)の平年値を用いて同様のシミュレーションを行った. 平年値によるシミュレーションとの比較においては, MIROC-hi 出力の気象値における年変動の影響を除外するため 2041 年から 2050 年の平均気象値を用いたシミュレーションを行った.

3. 結果および考察

日本全国のスギ林を対象として, 林分成長モデルの光合成パラメータを固定して森林炭素動態シミュレーションシステムを用いて 2005 年から 2050 年までシミュレーションを行った結果を図 2 に示す. 森林の炭素蓄積量は 2050 年まで増加傾向にあったが, 炭素蓄積変化量は減少傾向にあった. 日本のスギ人工林は戦後に植栽されたものがほとんどであり, 現在では 40 から 50 年生に集中している. このような林は時間が経つにつれ高齢化して成長が鈍化する. 一方で, 現状では林業活動の活性が低く, 伐採およびその後の再生林が少ないため, 成長が旺盛な若い林が将来的に少なくなっていく. その結果として, 炭素蓄積量は増加を続けるが, その変化量である炭素吸収量は減少したと考えられる.

林分成長モデルのパラメータに不確実性をもたせたシミュレーションの結果を図 3 に示す. 日本全国を対象とした炭素動態シミュレーションにおいて, モデルパラメータにおける不確実性の影響は相対的に小さいものとなった. ただし, 今回のシミュレーションにおいては光合成速度に関する 1 つのパラメータのみに不確実性を与えたものであり, 限られた実測データを用いたパラメータ推定において推定された不確実性パラメータを用いた結果である. モデルパラメータ推定の改善とあわせて, より適切に不確実性を評価できるようモデルを改良していく必要がある.

30 年間平年値を用いて行ったシミュレーションの結果を図 4 に示す. 気候シナリオデータによるシミュレーション(図 2)と比較すると, 顕著ではないが炭素蓄積量が高くなっている. また, スギ林の存在する 3 次メッシュにおける月平均気温について, 気候シナリオデータを 10 年ごとに平均した値および 30 年間の平年値を図 5 に示す. 月平均気温に関して, 30 年間平年値は気候シナリオデータの 10 年ごとの平均値と比較して低くなっており, 特に 2041 年から 2050 年における平均値との差は顕著であった. また 10 年ごとに平均した気候シナリオデータをみ

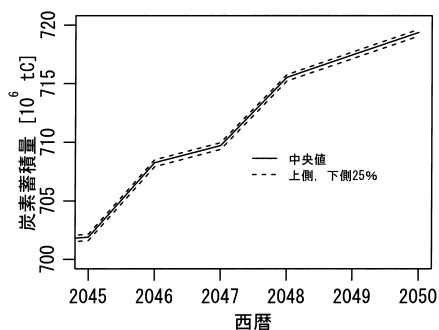


図3. 不確実性を考慮した炭素動態シミュレーションの結果.

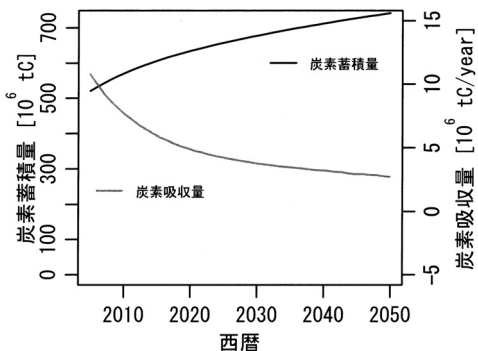


図4. 30年間平均値を用いた炭素動態シミュレーションの結果.

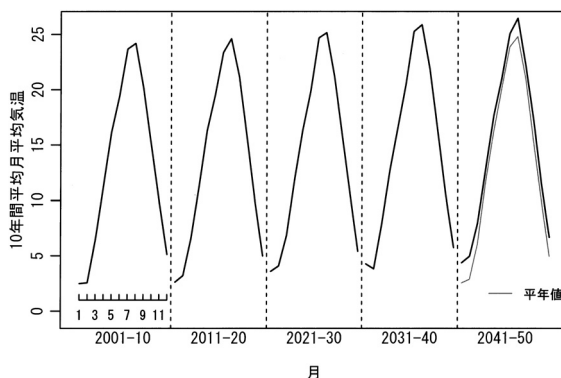


図5. 気象シナリオデータおよび30年平均値における月平均気温.

ると、わずかながら平均気温が上昇している傾向にある。2041年から2050年における平均の気象値を用いて行ったシミュレーションと、平年値によるシミュレーションとの比較を行ったところ、明確な差が生じる結果となった(図6)。今回の試行において気候シナリオデータを用いた場合に炭素蓄積量および炭素吸収量が平年値を用いた結果よりも低くなったことは、気候シナリオデータに表れている平均気温が上昇するという気候変動の影響であると考えられる。モデルの構造から、気温が上昇すると光合成の面で有利になるが、一方で呼吸速度も上昇する。今回のシミュレーションでは日本全体で見ると呼吸速度による損失の影響が卓越する結果となった。呼吸量は樹木のサイズに比例するが、先述のように日本のスギ人工林は40から50年生の林分が多く、すでにある程度大きなサイズとなっているため気温上昇による呼吸量増加の影響が大きくなったことの結果であると考えられる。また、本システムの林分成長モデルにおいては光合成速度に対する気温律速を飽和型の関数で表現していることから、基本的に暖かい地域では気温の上昇による光合成の向上があまり期待できず、呼吸量増加の影響が強調されたと考えられる。一方で、寒い地域では光合成による生産量が増加した可能性もある。日本においては九州や四国で人工林率が高く、暖かい地域で面積が大きいという現状があり、そのため日本全体で見ると気温上昇の影響が炭素蓄積量および吸収量に対してマイナスに作用した結

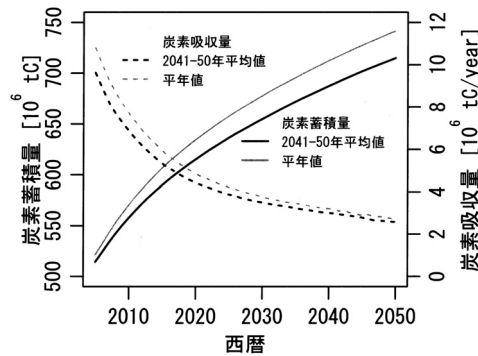


図 6. 気象シナリオデータおよび 30 年平均値を用いた炭素動態シミュレーションの比較.

果となったと考えられる。気温上昇の影響については、今回の試行を参考にして様々な設定でのシミュレーションを行い、その結果についてより細かい分析を行う必要がある。

4. おわりに

本報告においては、森林炭素動態シミュレーションシステムを紹介し、それを用いたシミュレーションによる気候変動リスク評価を試行した。林分成長モデルなどシミュレーションシステムの細部には改善すべき点も残っているが、森林の炭素吸収量に着目した森林政策を策定するための意志決定支援ツールとして、本システムが有効に活用できるという根拠の一端が示された。政策策定の支援ツールとしての有用性を示すため、今後は様々な林業シナリオに応じたシミュレーションを行って、中長期的な林業の影響を評価していく必要がある。

本報告においては、気象値に関して 1971 年から 2000 年までの年平均値と 2050 年までの温暖化予測値の違いによるスギ林の炭素動態の違いを評価したが、このことは森林の調整サービスにおける気候変動による環境リスクを評価したものともみなすことができる。環境リスクに対処するためには数理モデルを用いたシミュレーションによるリスク評価が有効であることの一例が示されたといえるだろう。今後はシステムを構成するモデルの信頼性を向上させると共に、幅の広いシミュレーションを行って、どのような条件で、どのような環境リスクが顕在化するのか探っていく必要がある。

謝 辞

本研究は農林水産技術会議委託プロジェクト研究「農林水産分野における地球温暖化対策のための緩和及び適応技術の開発」によって行われた。

参 考 文 献

- Hirata, Y., Imaizumi, Y., Masuyama, T., Matsumoto, Y., Miyazono, H. and Goto, T. (2010). National forest inventory reports, Japan, *National forest inventories* (eds. E. Tomppo, T. Gschwantner, M. Lawrence and R. E. McRobert), 333-340, Springer, Heidelberg.
- 細田和男, 西園朋広, 佐野真琴, 高橋與明, 光田 靖, 家原敏郎 (2012). 間伐強度の異なるヒノキ人工

- 林における 35 年間の炭素固定量の比較, 森林計画学会誌, **46**, 1–14.
- IPCC (2007). *Summary for Policymakers, Climate Change 2007 — Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge.
- K-1 model developers (2004). K-1 coupled model (MIROC) description 1, Center for Climate System Research, University of Tokyo, Tokyo.
- Kitahara, F., Mizoue, N. and Yoshida, S. (2008). Evaluation of data quality in Japanese national forest inventory, *Environmental Monitoring and Assessment*, **159**, 331–340.
- 松本光朗, 栗屋善雄, 家原敏郎, 高橋正通, 藤原 健, 細田和男, 金森匡彦, 堀 修二, 鈴木 圭, 松原吉隆, 今野知樹, 林 真智, 七海 崇 (2006). 国家森林資源データベースの設計と開発状況, 森林資源管理と数理モデル, **6**, 141–163.
- 光田 靖, 細田和男, 家原敏郎 (2013). 人工林長期継続調査データを利用した林分成長モデルのパラメータ推定, 統計数理, **61**(2), 307–322.
- 農林水産技術会議事務局 (2011). 地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響評価と緩和及び適応技術の開発, 農林水産技術会議研究成果, No. 483, 農林水産技術会議事務局.

A Trial for Evaluating Effects of Climate Change on National Scale Carbon Dynamics Using a National-level System for Simulating Forest Carbon Dynamics

Yasushi Mitsuda¹, Hidesato Kanomata² and Mitsuo Matsumoto³

¹Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute;
Now at Faculty of Agriculture, University of Miyazaki

²Department of Forest Policy and Economics,
Forestry and Forest Products Research Institute

³Principal Research Coordinator, Forestry and Forest Products Research Institute

We simulated forest carbon dynamics on a national scale using a forest carbon dynamics simulation system. We developed a simulation system consisting of a national-level forest database and a stand-level forest growth model. We developed a forest database from information on species, age and stand structure for each 1-km grid for all of Japan based on the National Forest Resource Database. The stand structure was estimated using the National Forest Inventory. A matter-balance-based stand-level forest growth model was adopted for the system. Based on predicted and average climatic values, we simulated the carbon dynamics of sugi (*Cryptomeria japonica*) stands on a national scale from 2005 to 2050 using the system. Simulated carbon stocks and its flux with predicted climatic values were lower than that simulated using average climatic values.